Die Abhängigkeit der Chlorophyllbildung von der Wellenlänge des Lichtes.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt

von

Arnold Schmidt
aus Neiße (Schlesien).

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Halle (Saale)
1914.

Referent: Prof. Dr. **G. Karsten.**

Tag der mündlichen Prüfung: 3. Dezember 1913.

Erscheint auch in: Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Begründet von Prof. Dr. Ferd. Cohn, herausgegeben von Dr. Felix Rosen, Band XII, S. 269 ff.

Meiner lieben Mutter

in Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung 7

II. Methodisches 10

a. Lichtquelle 10

b. Energiebestimmung 13

c. Bestimmung der Chlorophyllbildung 15

d. Bestimmung der Wirksamkeit 16

II. Die Versuche selbst und ihre Resultate 17

V. Schlußfolgerungen 20

Literaturnachweis 26

Anhang 29

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546025_0093

Die Abhängigkeit der Chlorophyllbildung von der Wellenlänge des Lichtes.

Von **Arnold Schmidt.**

(Mit 2 Tafeln.)

I. Einleitung.

Bei der großen Rolle, die das Chlorophyll im Haushalte der Natur spielt, ist es nicht zu verwundern, daß schon seit langer Zeit dieses Pigment zum Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gemacht worden ist, und auch heute gibt es eine Reihe von Gelehrten, die sich speziell mit dem grünen Farbstoff der Pflanzen beschäftigen. Ist doch der Ernährungsprozeß der gesamten Pflanzen- und Tierwelt an ihn gebunden; denn die heterotrophen Pflanzen und die Tiere bedürfen zu ihrer Ernährung der Nährstoffe, die sie aus mit Hilfe des Chlorophylls selbst assimilierenden Pflanzen ziehen.

Schon J. Ray (25)[1]) wußte, daß die Chlorophyllbildung in den allermeisten Fällen streng an Lichtzutritt gebunden ist, und spätere Forscher haben kaum daran gezweifelt. Die sichere Erkenntnis also, daß sich das Chlorophyll nur am Lichte bildet, legte die Frage nahe, welche Strahlen des Sonnenlichtes bei dem Prozeß am wirksamsten seien, mit andern Worten, welche Beziehung zwischen der Chlorophyllbildung und der Wellenlänge des Lichtes bestehe. Die meisten Forscher haben nun früher das Ergrünen der Pflanzen als gleichbedeutend mit der Chlorophyllbildung angesehen, während wir heute wissen, daß dieser Prozeß sich aus einer Reihe physiologisch-chemischer Vorgänge zusammensetzt, die sich teils nacheinander, teils nebeneinander abspielen, und von denen eben der letzte, und für uns allein bekannte, das Grünwerden der Pflanze ist. Als erster hatte wohl Daubeny (2) sich obige Frage vorgelegt, wobei er fand, daß hinter einer gelben Glasplatte die Pflanzen rascher ergrünten, als hinter einem Schirm, der von einer durchscheinenden Kupferlösung gebildet wurde. Später beschäftigte sich Gardner (5) mit einer derartigen Untersuchung, indem er etiolierte Keimlinge einem durch ein Flintglasprisma erzeugten objektiven Sonnenspektrum aussetzte. Es ergab

[1]) Die Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit. S. 26 ff.

sich, daß die gelben Strahlen wirksamer waren als die grünen und roten, während die violetten die geringste Wirksamkeit zeigten. Außer Glasprismen benutzte Guillemain (7) solche aus Quarz und Steinsalz. Nach seinen Untersuchungen sind nicht nur alle leuchtenden, sondern auch die ultraroten und ultravioletten Strahlen fähig, das Chlorophyll zu bilden, die wirksamsten sind jedoch die gelben und orangefarbenen Strahlen. Als nächster wäre dann Sachs (28) zu nennen, der das Ergrünen hinter zwei flüssigen Farbfiltern beobachtete. Als solche dienten ihm eine Lösung von doppelchromsaurem Kali und eine von Kupferoxydammoniak. Hinter beiden Schirmen ergrünten etiolierte Blätter von Triticum, Zea, Sinapis, Pisum und Lupinus gleichmäßig, während nur Keimlinge von Carthamus im orangefarbenen Lichte in gleichen Zeiten tiefer grün geworden waren als im blauen. Im Jahre 1874 veröffentlichte dann Wiesner (32) Resultate eingehender Untersuchungen über diesen Gegenstand, die besagen, daß „die am meisten leuchtenden Strahlen des Lichtes unter allen Anteilen des Sonnenspektrums nicht nur die höchste assimilatorische Kraft besitzen, sie sind es auch, welche das Ergrünen am raschesten bedingen und das Chlorophyll am kräftigsten zerstören.“ Bei großer Beleuchtungsstärke fand er, daß etiolierte Keimlinge hinter Kupferoxydammoniak schneller ergrünten, als hinter doppelchromsaurem Kali; bei geringer Beleuchtungsstärke unter Anwendung farbiger Filter stellte sich folgende Reihe für die Wirksamkeit beim Ergrünen heraus: Gelb, Grün, Rot, Blau; bei mittlerer Lichtintensität ergrünten die Keimlinge in allen Lichtarten annähernd gleich schnell. Eine Erklärung dieser verschiedenen Wirkung glaubt er darin zu finden, daß durch das intensivere Licht ein Teil des gebildeten Chlorophylls wieder zerstört wird. Ferner stellt er fest, daß „alle Teile des sichtbaren Sonnenspektrums die Fähigkeit haben, Chlorophyll zu bilden und zu zerstören“, eine Behauptung, die er etwas später in einer umfangreichen Arbeit (33) dahin korrigierte, daß die Strahlen vom äußersten Rot bis zur Fraunhoferschen Linie a [$\lambda = 0{,}7185\ \mu$] nicht mehr zur Chlorophyllbildung befähigt sind, daß also die chlorophyllerzeugende Kraft des Lichtes erst im Rot, zwischen den Linien a und B [$\lambda = 0{,}687\ \mu$] beginnt und von hier an allen Strahlen des sichtbaren Spektrums innewohnt. Den leuchtenden Strahlen des äußersten Rot und den dunklen Wärmestrahlen jener Intensität, welche die Lebensprozesse ergrünender Pflanzenteile nicht zu gefährden vermögen, komme direkt nicht die Eignung, zur Entstehung des Chlorophylls zu führen, zu. Demgegenüber stellte Reinke (26) fest, daß alle leuchtenden Strahlen des Sonnenspektrums zwischen den Fraunhoferschen Linien A [$\lambda = 0{,}762\ \mu$] und H [$\lambda = 0{,}3968\ \mu$] etiolierte Keimlinge zum Ergrünen bringen können, doch in verschiedenem Maße. Die Strahlen des zwischen A und D [$\lambda = 0{,}589\ \mu$] gelegenen Spektral-

bezirkes erweisen sich als die weitaus wirksamsten, unter ihnen wird das Maximum der Wirkung in der Mehrzahl der Versuche deutlich zu beiden Seiten der Linie C [$\lambda = 0{,}65629\ \mu$] gefunden; von D sinkt die chlorophyllbildende Kraft gegen die Linie H, von B gegen die Linie A hin. Die ultraroten und ultravioletten Strahlen vermögen bei den von Reinke angewandten Lichtstärken [Gitterspektrum und Prismenspektrum] das Ergrünen nicht hervorzurufen. Ferner stellt Reinke fest, daß die Kurve der Wirksamkeit der Strahlen beim Ergrünen nicht zusammenfällt mit der Absorptionskurve des Etiolins, die Pringsheim (24) aufgestellt hat. Bezüglich der Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Chlorophyllbildung kam mit Hilfe der Quecksilberlampe Stoklasa (30) zu dem Resultat, daß diese Strahlengattung sehr wohl das Ergrünen bewirken kann, ja daß sie es sogar schneller hervorruft als das diffuse Tageslicht und dieses wieder bedeutend schneller als das direkte Sonnenlicht. Nach seiner Meinung kommt bei der Chlorophyllsynthese den Strahlen, die eine Wellenlänge von $\lambda = 575$ bis $\lambda = 300\ \mu\mu$ haben, die größte Wirksamkeit zu. Hier ist jedoch zu bemerken, und darauf hat Kluyver in neuester Zeit hingewiesen (10), daß bei allen Versuchen, bei denen Stoklasa nur mit Strahlen von $\lambda > 300\ \mu\mu$ rechnet, nicht zu vernachlässigende Mengen von Strahlen durchgelassen werden, deren Wellenlänge $\lambda < 300\ \mu\mu$ ja sogar $\lambda < 200\ \mu\mu$ ist.

Überblickt man alle diese Resultate, so kann man wohl Jost (9) recht geben, wenn er meint, das wir trotz der großen Literatur vorläufig außerstande sind, die Frage endgültig zu entscheiden, in welcher Beziehung die Wellenlänge des Lichtes zu seiner Wirkung auf das Chlorophyll steht.

Daß die Verfasser der ersten Arbeiten über die Chlorophyllbildung in verschiedenfarbigem Licht nicht zu gleichen Resultaten gelangt sind, liegt wohl zum größten Teil an der Verschiedenheit ihrer Arbeitsmethoden, wobei manche Unvollkommenheiten, die teilweise von bedeutendem Einfluß auf das Resultat sind, nicht übersehen werden dürfen. Dahin gehört in erster Linie die Berücksichtigung der Intensität der verschiedenen Strahlen. Wir wissen (12), daß die Energieverteilung im Gitterspektrum der Sonne eine Kurve darstellt, die im gelben Spektralbezirk ihr Maximum hat und nach beiden Enden des Spektrums hin fällt, um im Violett ihr Minimum zu erreichen. Finde ich also, daß die gelben Strahlen z. B. eine bestimmte Wirkung 20mal so schnell erzielen, als die blauen, so darf ich aus dieser Zeitdifferenz noch lange nicht den gelben eine 20mal so große Wirksamkeit zuschreiben als den blauen. Würde sich nämlich herausstellen, daß der blaue Spektralbezirk nur den 20. Teil der Energie des gelben Bezirkes hat, so waren beide Strahlengattungen gleich wirksam.

Nun hat man offenbar den Gedanken an ungleiche Energieverhältnisse erst gar nicht in Betracht gezogen, dann hatte man zunächst keine Methoden, auch nur ungefähr genaue Energiemessungen zu machen. Mit Hilfe der Thermosäule sind wir jetzt schon seit geraumer Zeit in der Lage, bei photochemischen Prozessen oder überhaupt bei Vorgängen, die von Lichtwirkungen abhängen, die Intensitätsverhältnisse zu prüfen und zu berücksichtigen. Kniep und Minder (11), sowie Meinhold (15) haben das mit Erfolg getan, und zwar bei Untersuchungen der Kohlensäureassimilation in verschiedenfarbigem Licht.

Für die Chlorophyllbildung liegt eine entsprechende Untersuchung nicht vor. Auch sind seit dem Erscheinen der letzten Arbeit, die sich mit der Chlorophyllbildung in verschiedenfarbigem Licht beschäftigt, nämlich der von Reinke (36), ungefähr zwei Jahrzehnte verflossen, in die die Entwicklung der Meßmethoden fällt, so daß eine erneute Behandlung der Frage notwendig schien, umsomehr als der Prozeß der Chlorophyllbildung in anderer Hinsicht neuerdings besser geklärt ist.

Da es in meinen Versuchen darauf ankam, die für die Chlorophyllbildung in einem Spektralbezirk notwendige Zeit zu ermitteln, mußte ein bestimmtes Stadium in diesem photochemischen Prozeß möglichst genau festgestellt werden. Das mit bloßem Auge sichtbare Ergrünen abzuwarten, erschien unsicher und langwierig. In der spektroskopischen Methode haben wir ein Hilfsmittel, schon die geringsten Spuren des Chlorophylls nachzuweisen. Daher wurde das erste Auftreten der deutlichsten Absorptionslinie des Chlorophylls als Fixpunkt gewählt und die bis zu diesem Schwellenwert verstreichende Zeit bestimmt. Die so für die Spektralbezirke gewonnenen Zeitwerte mußten dann auf gleiche Energie umgerechnet werden. Notwendig für die Untersuchung war daher Konstanz (oder doch Verfolgbarkeit der Schwankungen) der Lichtquelle und Gleichmäßigkeit des etiolierten Pflanzenmaterials.

II. Methodisches.

a. Lichtquelle.

Die Sonne konnte ich als Lichtquelle nicht verwenden, da sie, hauptsächlich durch Wolkenbildung beeinflußt, bei uns ein zu wenig konstantes Licht liefert, weshalb Kniep und Minder ihre Versuche in Neapel ausführten. Auch wissen wir, daß die Energie z. B. der blauen Strahlen vom Morgen nach dem Mittag zu wächst, von da an gegen den Abend hin wieder abnimmt, d. h. die Intensität in den einzelnen Spektralbezirken ändert sich beständig, es dürfen daher die Werte, die zu wesentlich verschiedenen Tageszeiten oder überhaupt

an verschiedenen Tagen gefunden werden, nicht ohne weiteres auf das Normalspektrum bezogen und untereinander verglichen werden. Auf diese Umstände, die gegen die Verwendung von spektralzerlegtem Sonnenlicht sprechen, haben Kniep und Minder (11) auch aufmerksam gemacht. Mir lag nur daran, die rein physiologische Wirkung der verschiedenfarbigen Strahlen zu untersuchen, ich konnte also schon aus diesem Grunde die Sonne als Lichtquelle unschwer missen. Ich benutzte daher eine Nernstlampe (Vertikalbrenner), die, wie die zahlreichen Energiemessungen zeigten, bei den endgültigen Versuchen ein ausreichend konstantes Licht lieferte. Es sei hierbei auf die Tabellen am Schluß verwiesen. Auch war die Lampe genügend lichtstark; denn zu starke Lichtintensitäten dürfen keine Verwendung finden, da wir von Monteverde (17) und Liro (13) wissen, daß die Chlorophyllbildung bei diffusem Tageslichte schon nach 5—10 Sekunden eintritt, und bei so kurzen Zeiten wäre eine genaue Bestimmung der Fixpunkte wohl kaum möglich gewesen.

Die Lampe war hängend in einem lichtsicheren Kasten untergebracht und nach drei Seiten hin von den Wänden des Behälters gleichweit entfernt. In jeder dieser Wände befand sich in Höhe der Lampe eine Öffnung, vor der mittels Schlitteneinrichtung die Lichtfilter angebracht wurden. Außerdem war jede Öffnung durch einen verschiebbaren schwarzen Pappstreifen lichtsicher abzuschließen.

Es handelte sich nun darum, verschiedenfarbiges Licht herzustellen. Die spektrale Zerlegung hat folgende Nachteile: Gitterspektren sind wegen ihrer allzu großen Lichtschwäche nicht gut zu verwenden. Prismenspektren aber zerstreuen wieder die kurzwelligen Strahlen bedeutend stärker als die langwelligen. Außerdem muß das Prismenspektrum, um es möglichst rein zu erhalten, durch einen sehr engen Spalt hindurchgehen, sodaß auch hier die Energie gering wird; also hätte das viel stärkere Sonnen- oder Bogenlicht Verwendung finden müssen. Sucht nun Reinke dem Übelstande der verschieden starken Zerstreuung der Strahlen durch seinen Spektrophor (27) abzuhelfen, so wird das Licht auch hier auf jeden Fall ganz bedeutend geschwächt. Die Lichtintensität durch Erweiterung des Spaltes zu erhöhen, bringt wiederum Unreinheit der Farben mit sich. Denn arbeitet man mit Spaltbreiten von 10—15 mm, wie das Reinke getan, so können die dadurch erhaltenen Spektren unter keinen Umständen Anspruch auf Reinheit machen.

Wegen der Schwierigkeiten, die bei der Verwendung von Prismen bestehen, verwandten Kniep und Minder (11) Farbfilter. Als solche dienten ihnen für Rot und Blau Schottsche Gläser, für Grün eins von den Nagelschen (21) flüssigen Strahlenfiltern, eine Mischung von Kaliummonochromatlösung mit Kupferoxydammoniak. Von den farbigen

Glasplatten liefern nur sehr wenige einfarbiges Licht, so lassen z. B. die grünen und blauen Scheiben stets einen Teil der roten Strahlen durch.

Ich benutzte daher flüssige Farbfilter, deren Vorzüge Nagel (21) und Meinhold (16) hervorgehoben haben, und die letzterer mit gutem Erfolg verwandt hat. Wenn diese Filter auch in der Intensität des durchgelassenen Lichtes große Unterschiede zeigen, so sind ihnen dafür zwei andre Vorzüge eigen: man hat einmal die Möglichkeit, sie innerhalb gewisser Grenzen auf einen bestimmten Strahlenbezirk abzustimmen, andrerseits tritt bei ihnen nicht eine so starke Erwärmung ein, wie bei farbigen Gläsern. Zur Herstellung der Farblösungen wurden fast ausschließlich organische Farbstoffe und Kupfersalze verwendet. Im allgemeinen hielt ich mich so weit wie irgend möglich an die Meinholdschen Filter, um der wünschenswerten Einigung bezüglich der Farbfilter bei solchen Untersuchungen nicht entgegenzuarbeiten.

In folgender Tabelle ist die Zusammensetzung der Strahlenfilter wiedergegeben, die durchgelassenen Spektralbezirke möge die beiliegende Tafel I veranschaulichen.

1 = farblos = dest. H_2O
2 = rot = Neutralrot in H_2O
3 = rot-gelb = Methylorange in H_2O
4 = orange-gelb = Methylorange in $CuSO_4$-Lösung
5 = gelb = Saffranin in $CuSO_4$-Lösung
6 = gelb-grün = Zettnowsches Filter = $K_2Cr_2O_7$-Lösung in konz. $CuSO_4$-Lösung
7 = grün = $CuCl_2$ in Alkohol + Chromsulfat (hergestellt durch Kochen einer Kaliumbichromatlösung mit Schwefelsäure und Alkohol)
8 = blaugrün = Säuregrün in H_2O + $CuSO_4$-Lösung
9 = blau = Berliner Blau in H_2O
10 = dunkelblau = Paramethylblau in $CuSO_4$-Lösung
11 = violett = Gentianaviolett in H_2O + $CuSO_4$-Lösung.

Wenn bei den Filtern 7, 8 und 11 zwei Flüssigkeiten durch das +-Zeichen verbunden sind, so soll damit gesagt sein, daß die beiden Lösungen nicht miteinander vermischt, sondern in getrennten Trögen hintereinander geschaltet wurden, um chemische Umsetzungen zu vermeiden.

Des Kupfersalzes $CuSO_4$ bediente ich mich immer, wenn es darauf ankam, das rote Ende des Spektrums auszulöschen.

Die Filter wurden sowohl vor wie nach Benutzung spektralanalytisch untersucht und zeigten bei den noch zu besprechenden Vorsichtsmaßregeln keine Veränderung. Bei Filter 5 z. B., das wenig

Licht durchläßt und somit bei der langen Versuchsdauer stark erwärmt wurde, kristallisierte an den Rändern der Küvette das Kupfersulfat aus; dadurch mußte natürlich eine Änderung des Spektralbildes hervorgerufen werden. Je konzentrierter die $CuSO_4$-Lösung, desto stärker war die Absorption im Rot. Also war es notwendig, ein Auskristallisieren des Salzes zu verhindern, was mir in den meisten Fällen dadurch gelang, daß ich über die Farblösung eine Schicht von Paraffinum liquidum goß. Ferner wurde auf genügende Ventilation an dem Apparat Wert gelegt, um eine übermäßige Erwärmung zu vermeiden. Zur Aufnahme der Flüssigkeiten dienten genau parallelwandige Küvetten [$100 \times 60 \times 20$ mm]. Durch Verwendung der flüssigen Farbfilter, die sich durch Bestrahlung bedeutend langsamer erwärmen wie farbige Gläser, waren auch für die kurze Dauer der Energiemessung die Wärmestrahlen schon ausgeschaltet.

Trotzdem könnte man den Vorwurf machen, daß die Messungen nicht mit den Versuchsbedingungen übereinstimmten, denn es dürfte die Erwärmung des Kastens usw. nicht vernachlässigt werden. Dem ist entgegen zu halten, daß, wie Wiesner (33) zeigte und wie aus meinen Versuchen zu ersehen, grade die dunkelroten Strahlen sehr unwirksam sind; für die thermoelektrischen Messungen kommen sie nicht in Betracht, da die Messungen am Anfang des Versuches gemacht wurden.

b. Energiebestimmung.

Um die von den verschiedenen Filtern durchgelassene Energie zu bestimmen, benutzte ich eine Wismut-Antimon-Thermosäule, die mir von Herrn Geheimrat Professor Dr. Dorn in freundlicher Weise zur Verfügung gestellt wurde. Die Thermosäule war in derselben Entfernung wie die Pflanzen von der Lichtquelle aufgestellt und stand mit einem Spiegelgalvanometer mit Fernrohrablesung so in Verbindung, daß dabei alle Fehler, die durch Luftströme, sekundäre Thermoströme oder Induktionsströme entstehen können, nach Möglichkeit vermieden wurden. So wurden sämtliche Drahtkoppelungen mit Lötpaste gelötet und alsdann mit Isolierband umwickelt und gegen Temperaturschwankungen gesichert. Ferner wurden die Drähte da, wo sie an den Wänden befestigt werden mußten, durch paraffinierte Glasröhren geleitet, die durch paraffinierte Korke liefen. Die Korke ihrerseits waren durch paraffinierte Bindfäden an der Wand so befestigt, daß der Kork und somit auch der Draht die Wand nicht berührte. Um das zu erreichen, wurden die Befestigungsstellen so gewählt, daß eine Anspannung des Drahtes eine Entfernung der Korke von den Wänden bewirkte. Selbstverständlich war dabei, daß sich die Drähte selbst auch nicht berühren durften.

Um Induktionsströmen, die durch Bewegung oder Erschütterung der Drähte entstehen können, zu entgehen, wurden die meisten Messungen in der Nacht ausgeführt. Hierzu veranlaßte mich noch ein weiterer Umstand: Die Thermosäule stand mit den Belichtungsapparaten in dem Dunkelzimmer, wo die Versuche ausgeführt wurden, während das Galvanometer und das Fernrohr im benachbarten hellen Laboratorium aufgestellt war. Das erwähnte Dunkelzimmer lag aber nach Süden, wurde also an heißen Tagen von der Sonne auf der einen Seite bedeutend erwärmt, während die Innentemperatur des Zimmers und die der übrigen Wände zurückblieb. Dieser Umstand wirkte natürlich störend, obwohl beim Vergleich zahlreicher Beobachtungen der Fehler auszuschalten gewesen wäre. Ich zog es vor, die Messungen dann vorzunehmen, wenn die Temperatur in den Arbeitsräumen gleichmäßig war; das traf in der warmen Jahreszeit für die ersten Morgenstunden zu.

Um die Thermosäule selbst vor äußeren störenden Einflüssen zu schützen, hatte ich sie, ähnlich wie Meinhold (16), in einer Holzkiste mit Watte verstopft untergebracht. Nach vorn war der Kasten mit einer doppelten Blechblende mit Ausschnitt an der Stelle, wo sich die Thermosäule befand, verschlossen. Auf den runden Ausschnitt war eine planparallele Glasplatte aufgekittet. Bei den Energiemessungen wurde zunächst der Stromkreis durch einen Quecksilberviernapf, der auch ein Wenden des Stromes ermöglichte, geschlossen und blieb es während des weiteren Experimentierens.

Schon jetzt gab es einen Galvanometerausschlag, der sich nach dem Entzünden der Lampe, das ich bald darauf in dem vorläufig noch vollständig lichtsicheren Kasten veranlaßte, kaum merklich oder garnicht änderte. Dieser meistens sehr kleine Ausschlag wurde notiert. Nach Entfernung der schwarzen Pappe, welche, um die Bestrahlung der Thermosäule zu hindern, zwischen das Filter und die Kastenöffnung geschoben war, verstärkte sich der Ausschlag zu einem neuen. Bei dieser neuen Einstellung des Galvanometers wurde der erste Ausschlag beobachtet. Der Unterschied der beiden notierten Skalenwerte war durch die Strahlen, die das Filter durchgelassen hatte, verursacht, er galt mir daher als Maß für die relative Energie.

Die Energie in absoluten Größen zu bestimmen, war nicht notwendig, da ich nur die Wirkungen verschiedener Farben vergleichen wollte. Die Energie ist proportional der Intensität des erzeugten elektrischen Stromes, und diese wieder steht in hier genügender Näherung in Proportion zu der Tangente des Ausschlagswinkels, d. h. also zu der mit dem Fernrohr abgelesenen Anzahl der Skalenteile, wenn der Skalenabstand konstant gehalten wird. Verglichen wurden alle Ausschläge mit dem bei Filter 1 (dest. H_2O) erhaltenen, mit dem

zahlreiche Kontrollbeobachtungen gemacht wurden. Filter 1 wurde mit einem Ausschlag von 100 angenommen, und alle andern Werte entsprechend umgerechnet.

Zur Orientierung über die Strahlenfilter, ihre durchgelassenen Strahlenbezirke, die Absorptionsminima derselben, und die relativen Energiewerte, mag folgende Tabelle I dienen; im übrigen sei auch

Tabelle I.

Filter	Farbe	Bezirk der durchgelassenen Strahlen	Minimum der Absorption	relative Energie	
				direkt	auf 100 bezogen
1	farblos	rot	violett	11,764	100
2	rot	äußerstes Rot —639	ca. 700—655	9,050	76,93
3	rot-gelb	718—546	690—590	8,688	73,85
4	orange-gelb	660—527	655—530	1,400	11,90
5	gelb	655—583	645—605	0,250	2,13
6	gelb-grün	617—518	605—530	0,340	2,89
7	grün	552—498	540—515	0,244	2,07
8	blau-grün	548—453	538—470	2,475	21,04
9	blau	524—431	515—440	0,526	4,47
10	dunkelbau	502—411	480—420	0,400	3,40
11	violett	467—400	455—410	0,360	3,06

hier auf die Spektraltafel verwiesen. Zur qualitativen Untersuchung der Farblösungen bediente ich mich des Spektrometers, die Stellen der Minima der Absorption sind geschätzt, können also auf objektive Genauigkeit keinen Anspruch machen. Die Wellenlänge λ ist in $\mu\mu$ ausgedrückt.

c. Bestimmung der Chlorophyllbildung.

Wie man eine Kurve am Anfange nur auf eine sehr kurze Strecke als Gerade auffassen kann, ebenso können wir uns denken, daß nur am Anfange die Wirksamkeit einer Lichtquelle auf die Chlorophyllbildung mit Sicherheit der Belichtungsdauer proportional angesehen werden kann, und zwar umgekehrt proportional. Es kam mir also darauf an, eine Methode zu finden, die mir gestattete, möglichst früh den Anfang der Chlorophyllbildung festzustellen. Es ist schon darauf hingewiesen worden, daß der Übergang von der Ausgangssubstanz zum Chlorophyll sich allmählich vollzieht. Diese allmähliche Umwandlung macht sich auch in den Spektralbildern alkoholischer Auszüge der Versuchspflanzen bemerkbar; auch dort finden wir eine schrittweise Veränderung. Als günstigstes Kriterium für den Beginn der Chlorophyllbildung erschien mir die erste deutlich wahrnehmbare Änderung nach dem Chlorophyllspektrum zu. Meine diesbezüglichen

Versuche bestätigten die Befunde von Monteverde und Lubimenko (19) einerseits, sowie die Angaben Marchlewskis (15) andrerseits. Wenn die beiden ersten Autoren das Auftreten eines Absorptionsbandes von $\lambda = 680$ μμ bis $\lambda = 660$ μμ angeben, während bei Marchlewski für dasselbe die Werte $\lambda = 675{,}0 - 660{,}0$ μμ gelten, so ist daraus die Identität beider Streifen noch nicht unbedingt zu bezweifeln. Kleine Unterschiede in der Belichtungszeit, ebenso in der Konzentration der alkoholischen Auszüge, machen die Abweichung erklärlich. Es handelt sich also offenbar um die Anfänge des ersten Chlorophyllbandes.

Die Chlorophyllbildung erklärte ich für begonnen, wenn sich bei $\lambda = 665$ μμ ein Streifen deutlich zeigte, während die Pflanzen selbst in diesem Falle nach dem äußeren Aussehen von etiolierten nicht zu unterscheiden waren. Bei den verhältnismäßig lichtstarken Filtern war es möglich, diesen Zeitpunkt bis auf die Minute genau zu bestimmen, bei lichtschwachen dagegen mußte ich mich damit begnügen, das Mittel zwischen weiter auseinander liegenden Werten zu nehmen. Wenn ich z. B. bei einer Belichtungsdauer von 6½ Stunden den Streifen zum erstenmal deutlich sah, so läßt sich denken, daß eine Verminderung der Belichtungszeit um eine oder zwei Minuten keinen bedeutenden Unterschied im Spektralbilde bewirkte. Ich ging dann in der Expositionszeit so weit herunter, bis ich deutlich nur das Spektrum sah, das alkoholische Auszüge etiolierter Pflanzen zeigen. Nehmen wir an, das trat bei 6 Stunden 10 Minuten ein, dann nahm ich als kritischen Zeitwert 6 Stunden 20 Minuten. In diesem Sinne sind die größeren Zeitwerte, die später erscheinen, bezüglich ihrer Genauigkeit aufzufassen.

d. Bestimmung der Wirksamkeit.

Die relative Wirksamkeit der einzelnen Filter zu bestimmen, wäre ein leichtes gewesen, wenn die von ihnen durchgelassene Energie eine konstante Größe gewesen wäre. Die Reziproken der kritischen Belichtungszeiten hätten dann einfach als Wirksamkeitswerte gelten können. Andrerseits war es nicht ohne weiteres zulässig, sämtliche Zeitwerte auf eine konstante Energiegröße umzurechnen, in der Annahme, daß die Energie proportional der Wirksamkeit sei. Liro (13) hat für weißes Licht schon nachgewiesen, daß die Chlorophyllbildung als rein photochemischer Prozeß den photochemischen Gesetzen gehorcht; sie ist der Lichtstärke und der Beleuchtungszeit proportional. Verschiedene Lichtstärken verschaffte sich Liro, indem er die Entfernung des Objektes von der Lichtquelle änderte. Da die Intensität mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, so mußte in doppeltem Abstand, d. h. bei dem vierten Teil der Energie, auch die Chlorophyll-

bildung viermal so langsam vor sich gehen, oder es mußten, um eine bestimmte Chlorophyllmenge zu erzielen, bei Pflanzen, von denen einige doppelt so weit entfernt waren von der Lichtquelle wie die übrigen, die ersteren viermal so lange belichtet werden als die andern. Seine Versuche bestätigten die vorangegangenen Betrachtungen in den Grenzen 1 : 4 : 9.

Nachdem ich mich von der Gültigkeit dieser Gesetze für weißes Licht überzeugt hatte (siehe Anhang), begnügte ich mich damit, ihre Gültigkeit auch für einige Farbfilter nachzuweisen. So hatte ich z. B. bei Filter 3 (rotgelb) in der Entfernung von 1,30 m den Beginn der Chlorophyllbildung bei $5^1/_2$ Minuten gefunden, bei doppeltem Abstand sah ich bei 20 und 21 Minuten Belichtungszeit den Streifen nicht, während er bei 25 Minuten sehr deutlich, bei 23 Minuten aber auch noch gut zu sehen war. Andrerseits hatte sich bei Filter 6 (gelb-grün) als kritische Zeit ergeben: 2 Std. 28 Min. = 148 Minuten. Sollte der Wert und die Gesetze ihre Gültigkeit haben, so durfte, wenn die Pflanzen in halber Entfernung aufgestellt waren, bei 35 Minuten Belichtung noch nichts von Chlorophyll wahrzunehmen sein, während ein Versuch mit 40 Minuten Belichtungszeit die Bildung des Farbstoffs deutlich zeigen mußte. Das war in der Tat der Fall. Auch bei 36 Minuten zeigte sich noch nichts, während bei 38 Minuten der Streifen schon deutlich zu sehen war. Auch das Galvanometer ergab immer den Ausschlag, der nach der Entfernungsänderung zu erwarten war. In manchen Fällen begnügte ich mich mit angenäherten Kontrollversuchen. So war es mir nun gestattet, alle Zeitwerte auf gleiche Intensität umzurechnen, indem ich das Produkt aus Zeit und Energie bildete; aus den so erhaltenen Zahlen läßt sich die relative Wirksamkeit erkennen. Zu berücksichtigen ist, daß derjenige Spektralbezirk, dem auf diese Weise der größte Wert zufällt, der unwirksamste ist. Diese Ergebnisse setzten mich auch instand, bei lichtschwachen Filtern die Intensität auf das Vierfache zu erhöhen, indem ich die Pflanze in der halben Entfernung von der Lampe aufstellte.

III. Die Versuche selbst und ihre Resultate.

Am Anfange der Untersuchungen handelte es sich darum, für die im wesentlichen festgelegte Methode möglichst günstiges Material zu finden. Avena sativa, Triticum sativum, Hordeum sativum, Zea Mais, Brassica Napus, Lepidium Draba, Cochlearia officinalis, Erysimum cheiranthoides und verschiedene Phaseolus-Arten wurden auf ihr Verhalten im Etiolement untersucht; zugleich wurde dieses Material zu Ergrünungsversuchen benutzt, welche die erste Änderung im Spektrum des alkoholischen Auszuges etiolierter Pflanzen nach dem Chlorophyllspektrum zu bestimmen sollten. In dieser Hinsicht lieferten alle

Pflanzen dasselbe Resultat, was auch vorauszusehen war; denn wie Müllermeister (20) hervorhebt, ist die Einheit des Chlorophylls in sämtlichen Pflanzen von den meisten Forschern, von Brewster bis Willstätter, hinreichend begründet. Auch Liro (13) meint, daß, wie die Sache zurzeit liege, es kaum zu bezweifeln sei, daß in den Dunkelkeimlingen der verschiedensten Phanerogamen ein und derselbe Stoff, das Leukophyll, im Lichte dasselbe Chlorophyll liefern. Wenn nun auch nicht alle Pflanzen gleich schnell ergrünen, so wird trotzdem bei jeder derselbe Strahlenbezirk der wirksamste sein. Von allen oben angeführten Gramineen und Kruziferen erwies sich nur Zea Mais als gut verwendbar. Auch Phaseolus bildete für seine Größe zu wenig Blattsubstanz. Ich beschränkte mich also auf Zea Mais und zwar auf eine große amerikanische Sorte, Pferdezahnmais (Haage und Schmidt, Erfurt). Die Samen wurden zwei Tage gewässert, auf feuchtes Fließpapier gebracht, wo sie ca. 2—3 Tage ankeimten, und schließlich in mit feuchten Sägespänen gefüllte Töpfe gesteckt, die Töpfe standen in einem lichtsicheren Dunkelschrank, der sich im Dunkelzimmer befand. Auch die Vorbehandlung fand im Dunkeln statt, nur wurde während des Transportes der Samen vom Wasser auf das Fließpapier, ebenso wie beim Stecken in die Töpfe die photographische rote Lampe angezündet, deren Licht durch mehrere Schichten Pergamentpapier so stark abgeschwächt war, daß bei der ohnedies meistens noch garnicht oder nur winzig entwickelten Plumula eine Gefahr für die Korrektheit der Versuche nicht bestand. Bei völliger Dunkelheit wurden die Töpfe in den Dunkelschrank gebracht. Im Dunkelzimmer herrschte ständig, also auch bei den Versuchen eine durchschnittliche Temperatur von 20° C. (18° — 23° C.). Sachs (29) und Wiesner (33) hatten nämlich gefunden, daß die Chlorophyllbildung von der Temperatur des umgebenden Mediums abhänge. Elfving (3) bestätigte die Ergebnisse, und man glaubte auch allgemein daran (23). Wenn nun in neuerer Zeit Liro (13) und Issatschenko (8) zeigten, daß auch bei niedrigen Temperaturen (— 1° und — 8° C.) die Chlorophyllbildung von der Lichtstärke und der Beleuchtungszeit in derselben Weise abhängt wie bei Temperaturen zwischen 18° C. und 24° C., so erschien es auf jeden Fall vorteilhafter, für eine ungefähr konstante Temperatur Sorge zu tragen.

Ungefähr 20 Tage altes Material wurde in einer Entfernung von 1,30 m von der Lichtquelle an einem Stativ durch Umkehrung der Töpfe so angebracht, daß die einzelnen Pflanzen, die durch das lange Etiolement eine starke Verlängerung erfahren hatten und wegen der geringen Festigkeit nicht aufrecht stehen konnten, senkrecht herunter hingen. Nachdem das Material in völliger Dunkelheit dem Schrank entnommen und auf obige Art befestigt war, wurde die

Lampe im lichtsicheren Kasten zum Erglühen gebracht. Sobald sie brannte, erfolgte die Beobachtung des Galvanometerausschlages zum erstenmale. Nun entfernte ich den Schieber an der Öffnung des Kastens, vor welcher das Farbfilter stand, wobei der Zeitpunkt notiert wurde. Es folgte die zweite Ablesung am Galvanometer. Die kritischen Zeitwerte zu bestimmen, wurde folgendermaßen verfahren. Ich belichtete beispielsweise zunächst 3 Std., 2 Std. und 1 Std., eventuell noch $^1/_2$ Std. Zeigte sich bei der Untersuchung über die Wirkung von $^1/_2$ Std. und 1 Std. Belichtungszeit noch nichts, während bei 2 Std. und 3 Std. der Absorptionsstreifen sehr deutlich war, so wurden nunmehr Versuche angestellt, wo die Pflanzen $1^3/_4$ Std., $1^1/_2$ Std. und $1^1/_4$ Std. der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt waren. Indem ich also die Grenzen, innerhalb deren der kritische Punkt liegen mußte, immer mehr einengte, kam ich am sichersten zum Resultat.

Nach der Belichtung fand die weitere Behandlung des Materials wieder in völliger Dunkelheit statt. In einem abtarierten, lichtsicheren Beutel, in dem sich eine ziemlich lichtsichere Schachtel für photographische Platten befand, wurden die Blätter gewogen, alsdann in kochendes Wasser gebracht. Die wenigen Minuten des Abwägens kommen für die Nachwirkung einer photochemischen Induktion nicht in Betracht, da ja Liro (13) nachgewiesen hat, daß eine merkliche photochemische Induktion bei der Chlorophyllbildung nicht vorkommt, eine Ansicht, die auch Monteverde (18) teilt. Nach Abgießen des Wassers zerrieb ich die Blätter in einer Reibschale und schüttete das Material in ein Extrahierrohr, in dem sich so viel heißer 94%iger Alkohol befand, daß auf 1 gr Blattsubstanz 10 cbcm Alkohol kamen. Die so bereiteten Chlorophyllauszüge, die unter Sauerstoffabschluß im Dunkeln aufbewahrt wurden, untersuchte ich nach ihrem Filtrieren gewöhnlich am nächsten Tage in einem Rohr, das 10 cm lang und an beiden Enden mit aufgekitteten Glasscheiben verschlossen war. Durch die Länge des Rohres vergrößerte sich die Schichtdicke, erhöhte sich also die Empfindlichkeit der Methode.

Indem ich alle Gefäße, mit denen die alkoholischen Auszüge in Berührung kamen, nach jeder Benutzung mit Alkohol gründlich reinigte, beugte ich irgend welchen Fehlern, die durch Unsauberkeit der Instrumente leicht entstehen können, ein für allemal vor.

Die Resultate von ca. 350 Versuchen sind in folgender Tabelle II zusammengestellt. Reihen III und IV geben darin die Zeitwerte mit den Versuchsbedingungen an, während Zeile V die auf gleiche Entfernung (130 cm) umgerechneten Zeitgrößen enthält. Zeile VI zeigt die schon bekannten Energiegrößen. Aus der Multiplikation ihrer Größen mit den entsprechenden der Zeile V und aus Division der Resultate durch 100 gehen die relativen Wirksamkeitswerte in Zeile VII hervor.

Tabelle II.

I	Filter Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
II	Farbe	weiß	rot	rot-gelb	orange-gelb	gelb	gelb-grün	grün	blau-grün	blau	dunkel-blau	violett
III	Entfernung in cm	130	130	130	130	65	130	65	65	65	130	65
IV	Zeitwert in Minuten	4	220	5,5	62	340	148	> 1020	495	870	152	305
V	Zeitwert bei 130 cm Entfg.	4	220	5,5	62	1360	148	> 4080	1980	3480	152	1220
VI	relat. Energie	100	76,93	73,85	11,90	2,13	2,89	2,07	21,04	4,47	3,40	3,06
VII	Wirksamkeit bezogen auf Energie 100	4,0	169,2	4,0	7,4	28,9	4,3	>84,5	416,6	155,6	5,2	37,3

Tabelle III.

Filter Nr.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Abszisse x	677,5	640,0	592,5	620,0	567,5	527,5	505	477,5	450	432,5
Ordinate y	2,95	123,1	67,5	17,25	116,5	<5,92	1,2	3,22	96,15	13,40

Diese Werte habe ich versucht graphisch darzustellen; auf der Abszissen- oder x-Axe sind die Wellenlängen eingetragen, auf der Ordinate y die relativen Wirksamkeitswerte. Dabei gilt als Endpunkt der Abszisse eines Wertes die Mitte des Minimums der Absorption für den betreffenden Spektralbezirk, als Ordinate der Quotient aus 500 und dem aus obiger Tabelle ersichtlichen Wirksamkeitswerte. Die so berechneten Koordinaten seien hier zusammengestellt (Tabelle III). Unter Benutzung dieser Werte ergibt sich die beiliegende Figur (Tafel II, Fig. 1).

Die Kurve zeigt ein deutliches absolutes Minimum im grünen Spektralbezirk, ein relatives ungefähr bei $\lambda = 620$ $\mu\mu$, während das absolute Maximum am langwelligen Ende des Spektrums, ein weiteres relatives im Blau zu finden ist.

IV. Schlußfolgerungen.

Um aus obigen Resultaten brauchbare Schlüsse zu ziehen, müssen wir auf die Chlorophyllbildung überhaupt eingehen. Dabei stoßen wir auf eine Spaltung der Ansichten. Eine Reihe von Forschern, zu denen auch Liro gehört, lassen das Chlorophyll aus einer farblosen Muttersubstanz, dem Leukophyll entstehen, während andere, unter

ihnen Monteverde und Lubimenko, zunächst die Bildung eines gefärbten Stoffes, des Chlorophyllogens, aus farblosen Verbindungen annehmen, der dann als die Stammsubstanz des Chlorophylls anzusehen sei. Dementsprechend gehen auch die Ansichten über das Ergrünen einiger Pflanzen, z. B. der Koniferenkeimlinge im Dunkeln auseinander. Zu entscheiden, welche Ansicht die richtige ist, dürfte vorläufig nicht möglich sein. Bei unsrer sicheren Erkenntnis jedoch, daß die meisten Pflanzen nur im Licht Chlorophyll bilden, erscheint es unzweckmäßig, die so seltene Erscheinung, daß der Farbstoff unter Lichtabschluß gebildet wird, als das Gewöhnliche, und die überwiegend große Anzahl der Fälle, wo Licht zum Ergrünen notwendig ist, als Ausnahmefälle hinzustellen, wie es Monteverde und Lubimenko (19) zu beabsichtigen scheinen. Bei ihnen müssen wir uns mehrere unbekannte chemische Agentien denken, die das Chlorophyllogen in Chlorophyll umwandeln sollen und die denjenigen Pflanzen fehlen sollen, welche bei Lichtabschluß nicht ergrünen, sodaß das Licht garnicht als Chlorophyllbildner erscheint, während Liro für das Ergrünen im Dunkeln die Wirkung nur eines Katalysators annimmt, vorausgesetzt, es handelt sich um dasselbe Chlorophyll, und die Entwicklung von der Muttersubstanz zu ihm ist dieselbe wie bei Pflanzen, die bei ihrem Grünwerden auf die Wirkung des Lichtes angewiesen sind. Welchen Nutzen bringt jene Theorie, wenn sie durch die Einführung mehrerer neuer völlig unbekannter, vorläufig nur gedachter Fermente die endgültige Lösung der ganzen Frage in noch größere Entfernung rückt? Schon aus diesem Grunde möchte ich mehr zu Liros Ansicht hinneigen; und auch durch meine Untersuchungen fühle ich mich in der Ansicht bestärkt, daß die Chlorophyllbildung ein rein photochemischer Prozeß ist, womit gesagt sein soll, daß das Licht direkt auf die Ausgangssubstanz und später auf das Chlorophyll selbst wirkt.

Daß dieser Vorgang dem Gesetze vom photochemischen Effekt (22) gehorcht, hat sich für weißes Licht aus Liros und für die einzelnen farbigen Strahlengruppen aus meinen Versuchen ergeben (cf. S. 17). Ein weiteres photochemisches Gesetz betrifft die Beziehung zwischen optischer und chemischer Extinktion (22): Diejenigen Lichtstrahlen werden absorbiert, welche chemische Wirkungen hervorbringen, und umgekehrt, nur solche Strahlen können chemisch wirken, welche absorbiert werden. Nun kennen wir ja leider das Leukophyll, d. h. die Stammsubstanz des Chlorophylls, nicht genauer. Wir wissen nur, daß es, bei Abtötung der lebenden Blätter oder mit Alkohol behandelt, das Protochlorophyll liefert. Man könnte trotzdem zu einem gewissen Urteil kommen, welche Strahlen nach obigem Gesetz wirksam sein müßten, wenn man folgender Überlegung Raum gäbe: Das Leukophyll gilt als farblos, jedenfalls wissen wir über seine Absorption nichts.

Wir können deshalb auch nichts darüber aussagen, welche Strahlen im allerersten Anfange der photochemischen Chlorophyllbildung wirksam sind. Sobald aber die ersten Spuren von Chlorophyll vorhanden sind, was wir mit unsern technischen Mitteln noch nicht wahrnehmen können, und was offenbar sehr schnell eintreten wird, so kommt für das ganze photochemische System vorwiegend die Absorption durch das Chlorophyll selbst in Betracht. Infolgedessen mußten diejenigen Strahlen, die vom Chlorophyll absorbiert werden, sich schließlich doch als die wirksamsten erweisen.

Die Erscheinung einer Autokatalyse bei photochemischen Prozessen, wo die Absorptionsverhältnisse des im Licht zu bildenden Farbstoffes auf die Wirksamkeit der verschiedenen Strahlengattungen von Einfluß sind, ist jedenfalls nicht von vornherein als etwas Außergewöhnliches von der Hand zu weisen. Denn schon Gros (6) ist durch seine Untersuchungen über die photochemische Zersetzung von Leukobasen zu dem Ergebnis gekommen: „Es ist in hohem Grade wahrscheinlich, daß die Fähigkeit der Farbstoffe, katalytisch zu wirken, durch Lichtabsorption erregt wird. Infolgedessen erstreckt sich die Farbenempfindlichkeit der Leukobasen nicht nur auf die Strahlen, die von den Leukobasen selbst absorbiert werden, sondern auch auf solche, die von dem entstehenden Farbstoffe absorbiert werden."

Das Maximum der Wirksamkeit wäre theoretisch im Rot bei $\lambda = 670 - 650$ $\mu\mu$ zu erwarten. Bei meiner Kurve liegt es ungefähr bei $\lambda = 640$ $\mu\mu$. Jedoch darf nicht vergessen werden, daß das rote Filter, welches den Spektralbezirk des ersten Chlorophyllbandes enthält und demnach die größte Wirkung hätte zeigen müssen, außerdem sehr viele langwellige Strahlen enthält, die, wenn nicht schädigend, so doch sehr unwirksam und sehr energiereich sind. Auch wenn im Filter 3 (rotgelb), dessen Absorptionsminimum von $\lambda = 690 - 590$ $\mu\mu$ reicht, die Mitte dieser Spektralregion zur Fixierung des Wirksamkeitswertes genommen wird, so braucht die Lage des Punktes durchaus nicht mit der Wirklichkeit übereinzustimmen. Im Gegenteil, es ist sehr wohl denkbar, daß die roten Strahlen dieses Bezirkes weit wirksamer sind als die gelben (siehe Resultate), sodaß sich die Lage des Maximums voraussichtlich nach rot verschieben würde. Außerdem ist Filter 3 doppelt so wirksam als Filter 4, so daß die Stelle größter Wirksamkeit höchst wahrscheinlich am langwelligen Ende von 4 zu suchen ist. Leider sind die Filter der minder brechbaren Hälfte des Spektrums in bezug auf Ausdehnung ziemlich ungleich, am unangenehmsten fallen jedoch die ungeheuren Unterschiede in ihren Energiegrößen auf.

Betrachtet man dagegen die Filter 9, 10, 11, so zeigen sie alle drei annähernd gleiche Energie, während zugleich ihre Ausdehnungen

auf das Normalspektrum bezogen auch keine größeren Unterschiede aufweisen. Trotzdem finden wir ein deutliches Maximum zwischen den Fraunhoferschen Linien F und G, in der Nähe von $\lambda = 450$ μμ, von wo aus die Kurve nach beiden Seiten abfällt. Wichtig ist ferner, daß das grüne Filter (Nr. 7) nach 17 Stunden Belichtung in halber Entfernung noch keine Chlorophyllbildung veranlassen konnte.

Über die Absorption des Lichtes durch das Chlorophyll gibt uns am besten Aufschluß das soeben erschienene Werk von Willstätter und Stoll (34), dem das beiliegende (Tafel II, Fig. 2) Absorptionsspektrum der Chlorophyllkomponenten b entnommen ist. Leider findet sich in dem Buche kein ebenso anschauliches Bild von den Absorptionsverhältnissen des gesamten Chlorophylls, wie es in Tafel VIII des genannten Werkes für die beiden Komponenten des Farbstoffes gegeben ist. Große Unterschiede zeigen die Absorptionsspektra derselben nicht; daher begnügte ich mich mit der Wiedergabe des Absorptionsspektrums der Komponente b. Wenn auch die Komponente a das I. Absorptionsband bei $\lambda = 660$ μμ sehr deutlich zu erkennen gibt, so eignet sich doch die beigefügte Abbildung in mancher andern Hinsicht besser zum Vergleich mit meiner Kurve. Natürlich habe ich beide Absorptionsspektra meinen Resultaten gegenübergestellt, und es ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Absorption und Wirksamkeit.

Gehen wir vom Rot zum Blau, so wäre zunächst durch die minimale Absorption bei ca. $\lambda = 690$ μμ die geringe Wirksamkeit der äußersten roten Strahlen, also des Filters 1 zu erklären. Über die Lage des absoluten Maximums ist oben schon das Nötige gesagt; auch hier besteht eine annähernde Übereinstimmung mit der Lage des Absorptionsmaximums. Der schwachen Wirkung der gelben Strahlen entspricht die geringe Auslöschung bei $\lambda = 620$—630 μμ. Alsdann verstärkt sich nach dem kurzwelligen Ende des Spektrums zu die Absorption, was der steigenden Wirksamkeit bei Filter 4 und 6 entsprechen würde, um im Grün also in der Nähe von $\lambda = 500$ μμ ein Minimum zu erreichen. Auch bei meinen Versuchen zeigten sich die grünen Strahlen am wenigsten wirksam. Sehr deutlich macht sich jedoch ein Parallelismus zwischen Absorption und Wirksamkeit bei der Chlorophyllbildung im stärker brechbaren Teile des Spektrums bemerkbar. Hier ist noch hervorzuheben, daß nach Willstätter und Stoll auch die Absorption der Strahlen nach dem Violett zu wieder abnimmt, während man bisher nach Engelmanns (4) Messungen ein weiteres Steigen der Absorptionskurve vom blauen nach dem violetten Strahlenbezirk hin annahm.

Wenn wir die gewonnenen Resultate zunächst einmal überblicken, so können wir sie kurz dahin formulieren: Der rote und der blaue

Spektralbezirk zeigen eine auffallend maximale Wirkung, während das Minimum der Wirksamkeit im Grün liegt. So gefaßt, tritt eine Analogie zutage zwischen meinen Ergebnissen und denen von Kniep und Minder (11) sowie Lubimenko (14) für die Assimilation der Kohlensäure. Wenn jene beiden Forscher auch bei gleicher Energie gleiche Assimilation im Blau und Rot gefunden haben, so ändert das einerseits an der Ähnlichkeit der Resultate nichts, andrerseits hat Meinhold (16) schon darauf hingewiesen, daß es sehr wohl innerhalb desselben Strahlenbezirkes Unterschiede in der Assimilation geben könne. Lubimenko findet, daß rotes Licht den stärksten assimilatorischen Effekt zeigt, im Blau und Orange ist er etwas schwächer, das Minimum liegt im Grün. Man könnte also daraus schließen, daß dieselben Strahlen, die beim Aufbau des Chlorophylls am meisten beteiligt sind, im wesentlichen auch assimilatorisch die wirksamsten sind.

Die geringe Wirkung des grünen Filters, die doch recht auffällig ist, könnte man damit begründen, daß es die geringste Intensität im Vergleich mit den andern besäße. Doch weicht seine relative Energiegröße so wenig von der andrer, z. B. des Filters 5, ab, daß ich glaubte, die grüne Farbe des Chlorophylls für die schwache Wirkung der grünen Strahlen verantwortlich machen zu dürfen. Der Farbstoff erscheint eben grün, weil er die grünen Strahlen neben einigen anderen durchläßt, die komplementären nicht. Sollte nun meine Annahme, daß nur diejenigen Strahlen bei der Bildung des Chlorophylls sich als wirksam erweisen, die von ihm absorbiert werden, richtig sein, so dürfte hinter einem alkoholischen Chlorophyllauszug kein Ergrünen stattfinden. Diesen Versuch habe ich gemacht: Eine konzentrierte alkoholische Lösung von Chlorophyll wurde als Schirm benutzt. Versuche mit 6, 12 und 19 Stunden Belichtung bei halber Entfernung (65 cm) zeigten noch keine Chlorophyllbildung. Dabei wurde die Lösung häufiger erneuert, da bei zu langer Bestrahlung eine Zersetzung des Farbstoffes zu befürchten war. Wenn also die Lichtgattungen, die ein Chlorophyllauszug durchläßt, in 76 Stunden, bei gewöhnlicher Entfernung (130 cm) nicht imstande sind, wahrnehmbare Spuren von Pflanzengrün zu bilden, so erwiesen sie sich eben als die unwirksamsten, wenn ihnen nicht jede chlorophyllbildende Kraft abzusprechen ist. Zu dem letzten Schluß berechtigen die vorliegenden Ergebnisse nicht, da noch nicht erwiesen ist, daß die betreffenden Lichtregionen auch bei längerer Einwirkung auf die Pflanze unwirksam bleiben.

Ähnliche Erscheinungen sind schon verschiedentlich beobachtet worden. So hat z. B. Dangeard (1) gezeigt, daß Chlorella am besten wuchs an der Stelle des ersten Chlorophyllbandes, d. h. bei 640—670 $\mu\mu$, wie er angibt. Bezüglich der Wirkung des Lichtes auf Pflanzenfarbstoffe hat er gezeigt, daß bei der Einwirkung eines

Spektrums auf eine Glasplatte, bestrichen mit Kollodium, die in das Chlorophyll eingebettet war, die Entfärbung zuerst bei dem ersten Chlorophyllband eintrat.

Zu interessanten Resultaten ähnlicher Natur kam auch Wager (31). Seine Untersuchungen lassen ihn zu dem Schluß kommen, daß bei der heliotropischen Reaktion der Blätter diejenigen Strahlen aktiv sind, die von dem Chlorophyll absorbiert werden. Schaltete er einen Chlorophyllschirm zwischen die Blätter und das Licht, so hörte die heliotropische Reaktion entweder überhaupt auf, oder war stark reduziert.

Zur endgültigen Lösung der Frage, wie die Chlorophyllbildung von der Wellenlänge des Lichtes abhängt, müssen wir unbedingt die Wirkung der verschiedenen Lichtqualitäten bei derselben Energiegröße vergleichen. Dieses Ziel zu erreichen, wird im wesentlichen davon abhängen, ob wir imstande sein werden, entweder die Strahlenfilter so weit zu vervollkommnen, daß wir das Spektrum in zahlreiche sehr schmale Bezirke auflösen können, die aber noch eine hinreichende Lichtstärke besitzen, oder auf irgend eine Weise reine Spektren zu gewinnen, die trotz ihrer Reinheit auch noch genügend lichtstark sind.

Dieses Ziel steht noch in weiter Ferne.

Die Frage endgültig zu lösen, konnte daher nicht Zweck der vorliegenden Arbeit sein. Soviel haben aber die Untersuchungen gezeigt, daß bei der Chlorophyllbildung ebenso, wie es bereits von Kniep und Minder für die Assimilation nachgewiesen war, den blauen Strahlen eine größere Bedeutung zukommt, als bisher angenommen wurde, und daß die Wirksamkeit der einzelnen Lichtqualitäten bei diesem Prozeß einen auffälligen Parallelismus zeigt zur Absorption der Strahlen durch das Chlorophyll einerseits und zu ihrer assimilatorischen Wirkung andrerseits.

Literaturnachweis.

1. P.-A. Dangeard, Notice sur les travaux scientifiques de M. P.-A. Dangeard. Le Botaniste, série XII. 1912.
2. Ch. Daubeny, On the Action of Light upon Plants and of Plants upon the Atmosphere. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1836. Bd. I.
3. F. Elfving, Über eine Beziehung zwischen Licht und Etiolin. Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. 1880. Bd. II. Heft 3.
4. Th. W. Engelmann, Untersuchungen über die quantitativen Beziehungen zwischen Absorption des Lichtes und Assimilation in Pflanzenzellen. Botanische Zeitung 1884. Bd. 42.
5. J. S. Gardner, Über die Wirkung des gelben Lichts bei Erzeugung der grünen Farbe der Pflanzen, sowie die Wirkung des indigofarbenen Lichtes in betreff ihrer Bewegung nach dem Lichte. Neue Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde von Ludwig Friedrich und Robert Froriep 1844. Bd. XXX. Nr. 11.
6. O. Gros, Über die Lichtempfindlichkeit des Fluoresceins, seiner substituierten Derivate, sowie der Leukobasen derselben. Zeitschrift f. phys. Chemie. 1901. Bd. 37.
7. A. Guillemain, Production de la chlorophylle, et direction des Alges sous l'influence des rayons ultra-violets, calorifiques et lumineux du spectre solaire. Annales des sciences naturelles 1857. T. VII.
8. B. Issatschenko, Sur les conditions de la formation de la chlorophylle. III. Resumé. Bull. jard. imp. St. Pétersbourg. 1909. T. 9.
9. L. Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 3. Aufl. Jena 1913.
10. A. J. Kluyver, Ist man berechtigt, die mit dem ultravioletten Licht der Heräuslampe erzielten photochemischen Ergebnisse auf die bei der Pflanze im Sonnenlicht vor sich gehenden Prozesse ohne weiteres zu übertragen? Östr. Bot. Ztschrft. 1913. Bd. LXIII.
11. H. Kniep und F. Minder, Über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Kohlensäureassimilation. Zeitschr. f. Bot. 1909. Bd. I.
12. S. P. Langley, La distribution de l'énergie dans le spectre normal. Annales de chimie et de physique 1882. V. Ser. Bd. 25.
13. I. Liro, Über die photochemische Chlorophyllbildung bei den Phanerogamen. Annales Academiae scientiarum fennicae. 1908. Ser. A. Tom. I. Nr. 1.
14. W. Lubimenko, L'assimilation chlorophyllienne et la production de la substance sèche à la lumière blanche et à la lumière colorée. Rév. gén. bot. 1911. Bd. 23.

15. L. Marchlewski, Die Chemie der Chlorophylle und ihre Beziehung zur Chemie des Blutfarbstoffes. Braunschweig 1909.

16. Th. Meinhold, Beiträge zur Physiologie der Diatomeen. Beiträge zur Biologie der Pflanzen. 1910. Bd. X.

17. N. Monteverde, Über das Protochlorophyll. Acta Horti Petropolitani, 1894. Vol. XIII.

18. N. Monteverde, Das Protochlorophyll. Bull. jard. imp. St. Pétersbourg. 1902. T. II.

19. N. Monteverde und W. Lubimenko, Untersuchungen über die Chlorophyllbildung bei den Pflanzen. Biol. Centralbl. 1911. Bd. 31.

20. W. Müllermeister, Über die Absorption des Chlorophylls und seiner Derivate. Zeitschr. für wissenschaftl. Photographie, Photophysik und Photochemie. 1907. Bd. 5.

21. W. Nagel, Über flüssige Strahlenfilter. Biol. Centrlbl. 1898. Bd. 18.

22. W. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. 2. Aufl. Bd. II. 1. Leipzig 1893. Dort weitere Litt.

23. W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. Bd. I. 1897.

24. N. Pringsheim, Über die Absorptionsspektra der Chlorophyllfarbstoffe. Monatsber. d. Kgl. Akad. d. Wiss. zu Berlin. Okt. 1874.

25. J. Ray, Historia planterum. 1686. Bd. V. 1.

26. J. Reinke, Die Abhängigkeit des Ergrünens von der Wellenlänge des Lichtes. Sitzgsber. d. Kgl. Akad. d. Wiss. zu Berlin. 1893. Bd. II.

27. J. Reinke, Untersuchungen über die Einwirkung des Lichtes auf die Sauerstoffausscheidung der Pflanzen. 2. Mitteilg. Bot. Ztg. 1884. Bd. 42. Ebenso Reinke siehe Nr. 26.

28. J. Sachs, Wirkungen farbigen Lichts auf Pflanzen. Bot. Ztg. 1864.

29. J. Sachs, Über den Einfluß der Temperatur auf das Ergrünen der Blätter. Flora 1864.

30. J. Stoklasa (unter Mitwirkung von Emanuel Senft, Franz Strănák und W. Zdobnický), Über den Einfluß der ultravioletten Strahlen auf die Vegetation. Sitzgsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. zu Wien 1911, math.-nat. Kl. Bd. CXX, Abt. 1.

Dasselbe in: Centralblatt für Bacteriologie 1912. II. Abt. Bd. 31.

31. H. Wager, The Perception of Light in Plants. Annals of Botany. 1909. Vol. XXIII.

32. J. Wiesner, Untersuchung über die Beziehung des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzgsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl. 1873. Bd. LXIX. Abt. 1.

33. J. Wiesner, Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze. Wien 1877.

34. R. Willstätter und A. Stoll, Untersuchungen über Chlorophyll. Berlin 1913.

Anhang.

Tabellen.

Einige Protokolle über Galvanometerausschläge.

Filter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Farbe	farblos	rot	rot-gelb	orange-gelb	gelb	gelb-grün	grün	blau-grün	blau	dunkel-blau	violett
Entfernung	1,30 m	1,30 m	1,30 m	1,30 m	$^3/_4 \cdot 1{,}30$ m	1,30 m	$^3/_4 \cdot 1{,}30$ m	$^3/_4 \cdot 1{,}30$ m	$^3/_4 \cdot 1{,}30$ m	1,30 m	$^3/_4 \cdot 1{,}30$ m
Ausschläge	11,80	9,10	8,75	1,44	0,47	0,35	0,57	4,6	0,98	0,43	0,66
	11,76	9,07	8,72	1,41	0,44	0,37	0,59	4,3	0,93	0,40	0,68
	11,79	9,03	8,76	1,43	0,46	0,36	0,57	4,5	0,95	0,41	0,65
	11,73	8,98	8,69	1,39	0,45	0,34	0,54	4,7	0,92	0,39	0,63
	11,78	9,13	8,70	1,37	0,42	0,35	0,56	4,4	0,88	0,42	0,66
	11,80	9,03	8,64	1,42	0,43	0,32	0,52	4,3	0,96	0,38	0,62
	11,79	9,02	8,62	1,40	0,44	0,30	0,55	4,1	0,95	0,40	0,64
	11,69	9,04	8,65	1,41	0,46	0,34	0,53	4,5	0,93	0,39	0,60
	11,76	9,05	8,68	1,38	0,43	0,33	0,54	4,4	0,94	0,41	0,64
	11,74	9,05	8,67	1,35	0,45	0,34	0,53	4,3	0,91	0,37	0,62
Mittel	11,76	9,05	8,69	1,40	0,45	0,34	0,55	4,4	0,94	0,40	0,64
Ausschlag auf 1,30 m Entfernung umgerechnet	11,76	9,05	8,69	1,40	0,25	0,34	0,24	2,48	0,53	0,40	0,36

Filter	1		2		3		4	6	8		10
Farbe	farblos		rot		rot-gelb		orange-gelb	gelb-grün	blau-grün		dunkel-blau
Entfernung	0,65 m	2,60 m	0,65 m	2,60 m	0,65 m	2,60 m	0,65 m	0,65 m	1,30 m	2,60 m	0,65 m
Ausschläge	47,22	2,96	36,22	2,26	34,73	2,21	5,72	1,41	2,52	0,62	1,71
	47,07	2,90	36,20	2,30	34,68	2,18	5,64	1,36	2,48	0,60	1,66
	47,17	2,95	36,31	2,29	34,70	2,20	5,58	1,38	2,45	0,64	1,62
	46,96	2,89	36,18	2,25	34,66	2,14	5,74	1,45	2,47	0,59	1,56
	46,99	2,93	36,25	2,24	34,69	2,18	5,52	1,36	2,50	0,63	1,63
Mittel	47,08	2,93	36,23	2,27	34,69	2,18	5,64	1,39	2,49	0,62	1,64
auf 1,30 m umgerechnet	11,77	11,70	9,06	9,08	8,67	8,73	1,41	0,35	2,49	2,50	0,41

Einige Versuchsprotokolle.

Filter 1. Farblos. Entfernung 1,30 m.

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis der spektroskopischen Untersuchung
30 Min.	+ + + [1]
20 „	+ +
10 „	+ +
5 „	+

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
5 Min.	+
4 „	+
3 „	—
2 „	—

Reihe III.

Belichtung	Ergebnis
4½ Min.	+
4 „	+
3½ „	—

Entfernung 2,60 m.

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis
25 Min.	+ +
20 „	+
15 „	—
10 „	—

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
19 Min.	+
18 „	+
17 „	+
16 „	+

Filter 2. Rot. Entfernung 1,30 m.

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis
5 Std.	+ +
4 „	+
3 „	—
2 „	—
1 „	—

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
4 Std.	+
3 Std. 45 Min.	+
3 „ 30 „	—
3 „ 15 „	—
3 Std.	—

Reihe III.

Belichtung	Ergebnis
3 Std. 45 Min	+
3 „ 40 „	?
3 „ 35 „	—

Entfernung 0,65 m.

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis
1 Std.	+
¾ „	—
½ „	—

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
60 Min.	+
55 „	+
50 „	—

Reihe III.

Belichtung	Ergebnis
55 Min.	+
53 „	—
51 „	—

[1]) Das + Zeichen bedeutet, daß die Chlorophyllbildung schon begonnen hatte, mehrere + Zeichen, daß sie schon sehr deutlich wahrzunehmen war, während das — Zeichen besagt, daß noch kein Chlorophyll vorhanden.

Filter 3. Rot-gelb.

Entfernung 1,30 m.

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis
3/4 Std.	+ + +
1/2 „	+ +
1/4 „	+ +
10 Min.	+
5 „	—

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
9 Min.	+
8 „	+
7 „	+
6 „	+
5 „	—

Reihe III.

Belichtung	Ergebnis
6 Min.	+
5 1/2 „	+
5 „	—

Entfernung 2,60

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis
35 Min.	+ +
30 „	+ +
25 „	+
20 „	—

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
24 Min.	+
23 „	+
22 „	+
21 „	—

Filter 4. Orange-gelb. Entfernung 1,30 m.

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis
1 1/2 Std.	+
1 „	—
1/2 „	—

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
1 Std. 25 Min.	+
1 „ 15 „	+
1 „ 5 „	+

Reihe III

Belichtung	Ergebnis
1 Std. 4 Min.	+
1 „ 2 „	?
1 „	—

Filter 5. Gelb. Entfernung 0,65 m.

Reihe I.

Belichtung	Ergebnis
8 Std.	+ +
6 „	+
4 „	—
2 „	—

Reihe II.

Belichtung	Ergebnis
5 1/2 Std.	—
5 „	—
4 1/2 „	—

Reihe III.

Belichtung	Ergebnis
5 Std. 50 Min.	+
5 „ 40 „	+ (?)
5 „ 30 „	—

Reihe IV.

Belichtung	Ergebnis
5 Std. 45 Min	+
5 „ 42 „	+
5 „ 40 „	?
5 „ 38 „	—
5 „ 35 „	—

Filter 6. Gelb-grün.

Entfernung 1,30 m.

Reihe I.		Reihe II.		Reihe III.		Reihe IV.		Entfernung 0,65 m.	
Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis
3 Std	+	$2^3/_4$ Std.	+	2Std.25Min.	—	2Std 29Min.	+	40 Min.	+
2 „	—	$2^1/_2$ „	+	2 „ 20 „	—	2 „ 28 „	?	35 „	—
1 „	—	$2^1/_4$ „	—	2 „ 18 „	—	2 „ 27 „	—		
						2 „ 26 „	—		

Filter 8. Blau-grün. Entfernung 0,65 m.

Reihe I.		Reihe II.		Reihe III.		Reihe IV.	
Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis
6 Std.	—	12 Std.	+ +	$9^1/_2$ Std	+	8 Std. 25 Min.	+
4 „	—	10 „	+	9 „	+	8 „ 20 „	+
2 „	—	8 „	—	$8^1/_2$ „	+	8 „ 15 „	?
						8 „ 10 „	—
						8 „ 5 „	—

Filter 9. Blau. Entfernung 0,65 m.

Reihe I.		Reihe II.		Reihe III.		Reihe IV.	
Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis
6 Std.	—	12 Std.	—	$15^1/_2$ Std.	+	$14^3/_4$ Std	+
8 „	—	14 „	—	15 „	+	$14^1/_2$ „	?
10 „	—	16 „	+	$14^1/_2$ „	?	$14^1/_4$ „	—

Filter 10. Dunkelblau. Entfernung 1,30 m.

Reihe I.		Reihe II.		Reihe III.		Reihe IV.	
Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis
6 Std.	+	$3^1/_2$ Std.	+	2 Std. 50 Min.	+	2 Std. 34 Min.	+
4 „	+	3 „	+	2 „ 40 „	+	2 „ 33 „	+
2 „	—	$2^1/_2$ „	—	2 „ 35 „	+	2 „ 32 „	?
						2 „ 31 „	—

Filter 11. Violett. Entfernung 0,65 m.

Reihe I.		Reihe II.		Reihe III.		Reihe IV.	
Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis	Belichtung	Ergebnis
8 Std.	+	5½ Std.	+	5 Std. 25 Min.	+	5 Std. 10 Min.	+
6 „	+	5 „	—	5 „ 15 „	+	5 „ 5 „	?
4 „	—	4½ „	—	5 „ 5 „	?	5 „	—

Erläuterungen zu den Tafeln.

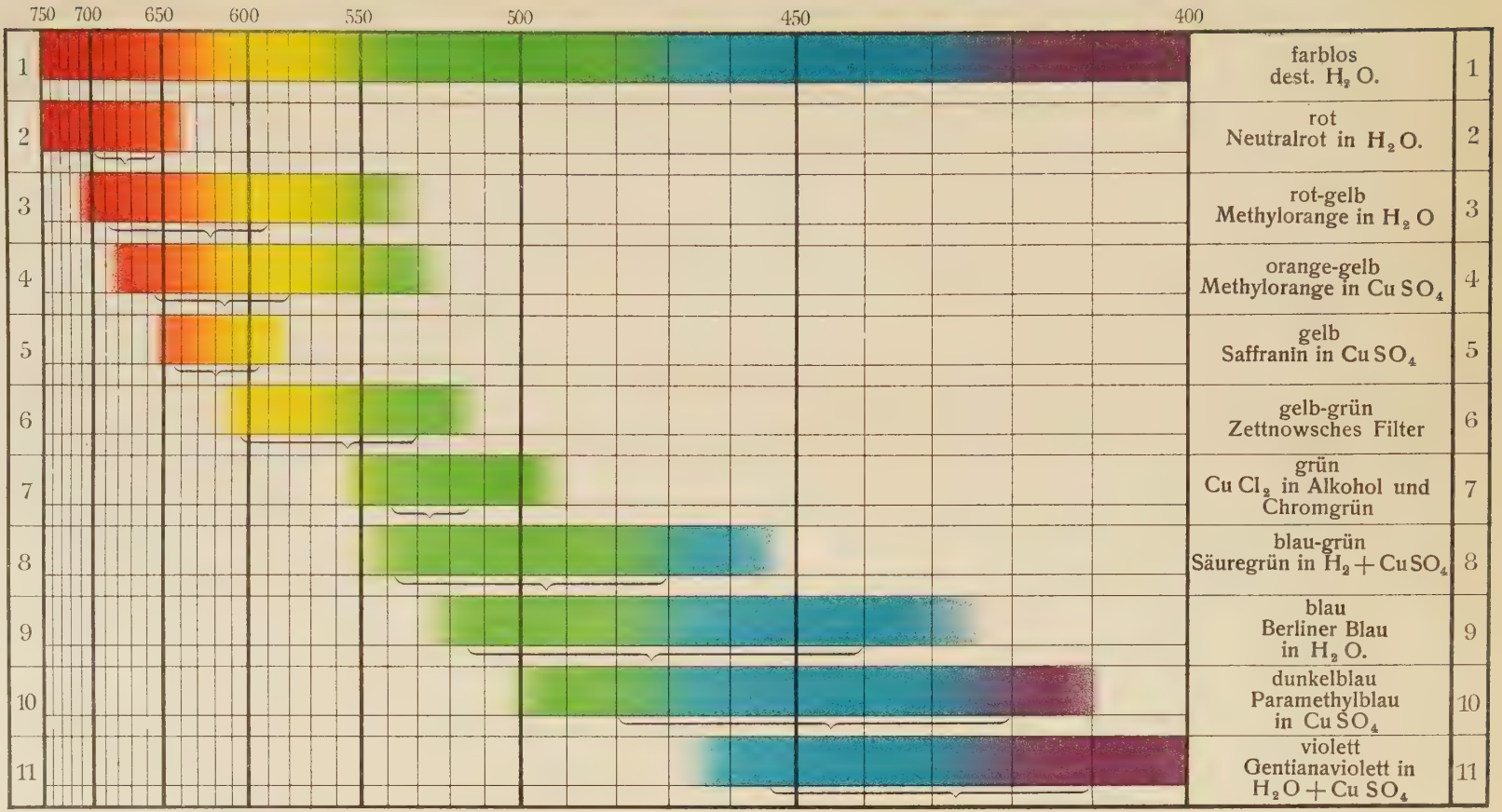
Tafel I

stellt die von den einzelnen Filtern durchgelassenen Strahlenbezirke dar, wie sie bei spektroskopischer Untersuchung beobachtet wurden.

Tafel II.

Figur 1 zeigt die Kurve der durch meine Versuche ermittelten Wirksamkeitswerte. Das Auslaufen der Kurve unter die Abszissenachse bei ca $\lambda = 530\ \mu\mu$ soll andeuten, daß für Filter 7 bei den angewandten Belichtungszeiten noch keine Wirksamkeit gefunden wurde.

Figur 2 zeigt das Chlorophyllspektrum nach Willstätter und Stoll (cf. S. 23). Das Bild, d. h. die übereinander abgebildeten Spektren sind entstanden dadurch, daß die Forscher den Chlorophyllauszug bei verschiedener Schichtdicke spektroskopisch untersuchten; das oberste Spektralbild ist bei der geringsten Schichtdicke aufgenommen, nach unten zu ist bei den Spektren die Schichtdicke erhöht.



Die ⌣ gibt das Minimum der Absorption an.

Tafel I.

Fig. 1

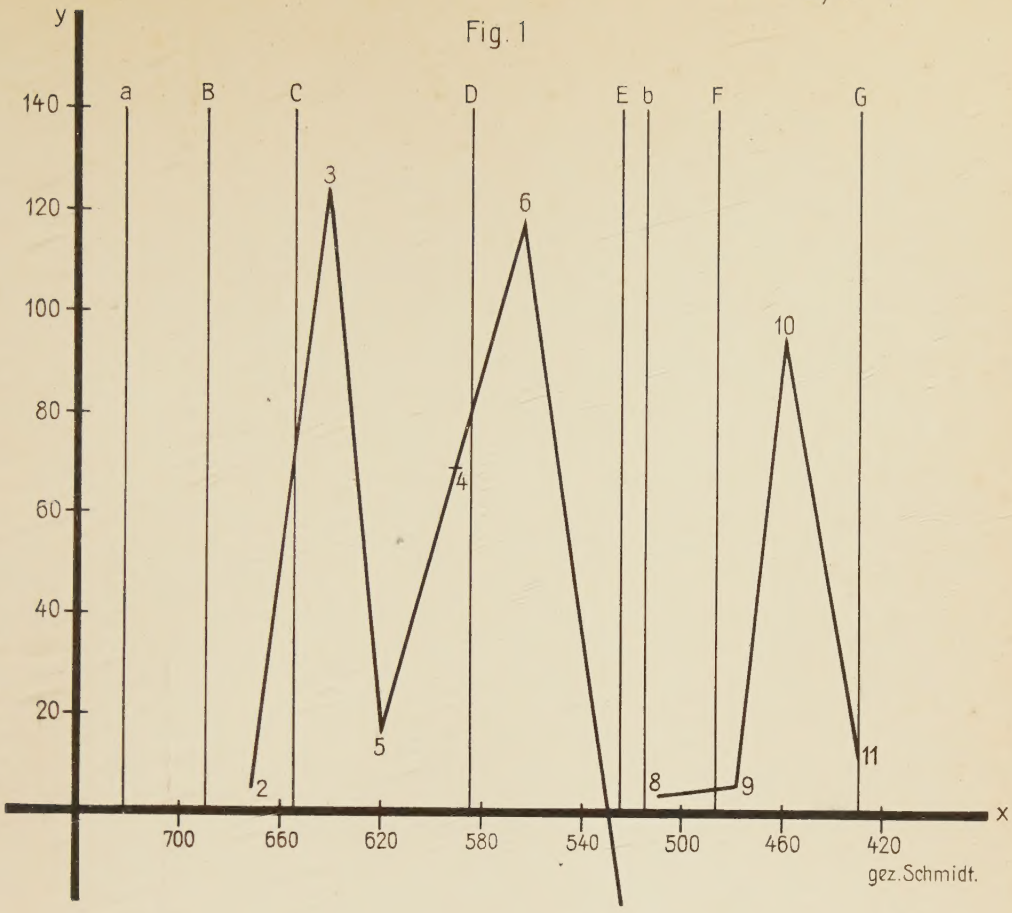
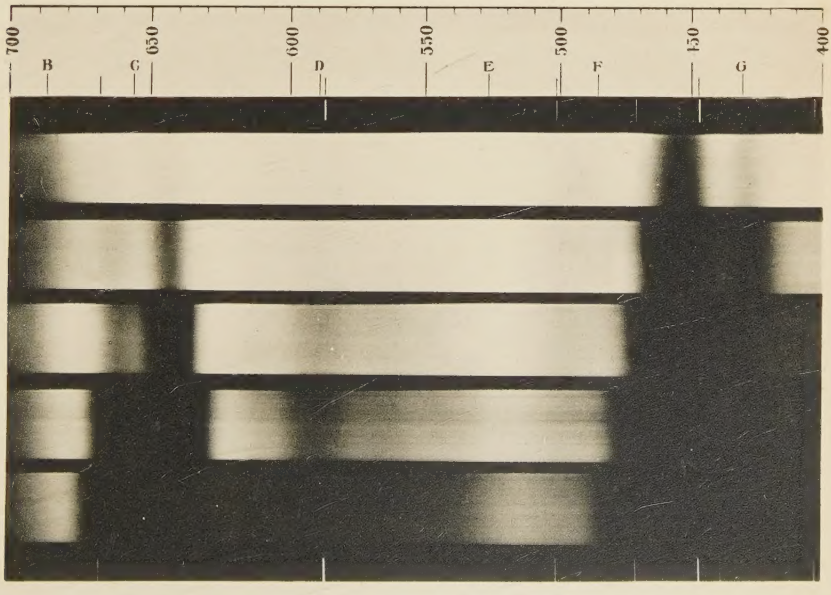

y
140
120
100
80
60
40
20
a
B
C
D
E
b
F
G
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
x
700
660
620
580
540
500
460
420
gez. Schmidt.

Fig. 2


700
650
600
550
500
450
400
B
C
D
E
F
G

Lebenslauf.

Ich, Heinrich Arnold Schmidt, kath. Konfession, preußischer Staatsangehöriger, wurde am 31. Juli 1889 in Neiße, Provinz Schlesien, als Sohn des verstorbenen Kaufmanns Heinrich Schmidt und seiner Ehefrau Anna, geb. Galisch, geboren. Von Ostern 1895 an besuchte ich fünf Jahre die kath. Volksschule meiner Heimatsstadt, um Ostern 1900 in die Sexta des städtischen Realgymnasiums zu Neiße einzutreten. Diese Anstalt verließ ich Ostern 1909 mit dem Reifezeugnis. Nachdem ich in Marburg, Breslau und Innsbruck je ein Semester Mathematik und Naturwissenschaften studiert hatte, bezog ich Oktober 1910 die Universität Halle-Wittenberg, um dieses Studium hier fortzusetzen. Im botanischen Institut dieser Universität wurde auch die vorliegende Arbeit ausgeführt in der Zeit von Sommer 1912 bis Sommer 1913. Gehört habe ich bei folgenden Herren:

in Marburg: *Hellinger, Neumann, Richarz, Schücking, Schulze;*

in Breslau: *Franz, Kneser, Kühnemann, Lummer, Pax, Schaefer, Waetzmann, Zimmer;*

in Innsbruck: *Gmeiner, Hammerl, von Lerch, Michael, Tumlicz, Zindler;*

in Halle: *Brodnitz, Bruel, Buchholz, Cantor, Dorn, Eberhard, Fitting, Fries, Gutzmer, Haecker, Japha, Karsten, Kattenbusch, Krueger, Medicus, Menzer, Pringsheim, Ruhland, von Ruville, K. Schmidt, Stammler, Vorländer, von Wackernagel, Wangerin.*

Allen meinen hochverehrten Lehrern bin ich zu großem Dank verpflichtet für die mannigfachen Anregungen, die ich in ihren Vorlesungen erhielt. Herrn Prof. Dr. G. Karsten, in dessen Institut die vorliegende Arbeit entstand, sowie Herrn Dr. Pringsheim, der die Anregung dazu gab, erlaube ich mir für die vielen Ratschläge und das lebhafte Interesse, das sie dem Fortgang der Arbeit entgegenbrachten meinen tiefgefühltesten Dank auszusprechen. Auch Herrn Geheimrat Prof. Dr. Dorn und Herrn Prof. Dr. Tubandt möchte ich für die freundliche Unterstützung, die sie der Arbeit zuwandten, ergebenst danken.